

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-339922

(P2001-339922A)

(43)公開日 平成13年12月7日(2001.12.7)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト <sup>*</sup> (参考)
H 0 2 K 21/16		H 0 2 K 21/16	M 5 H 6 1 9
1/27	5 0 1	1/27	5 0 1 A 5 H 6 2 1
			5 0 1 M 5 H 6 2 2
19/10		19/10	A

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願2000-153387(P2000-153387)

(22)出願日 平成12年5月24日(2000.5.24)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72)発明者 服部 伴之

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(72)発明者 堺 和人

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

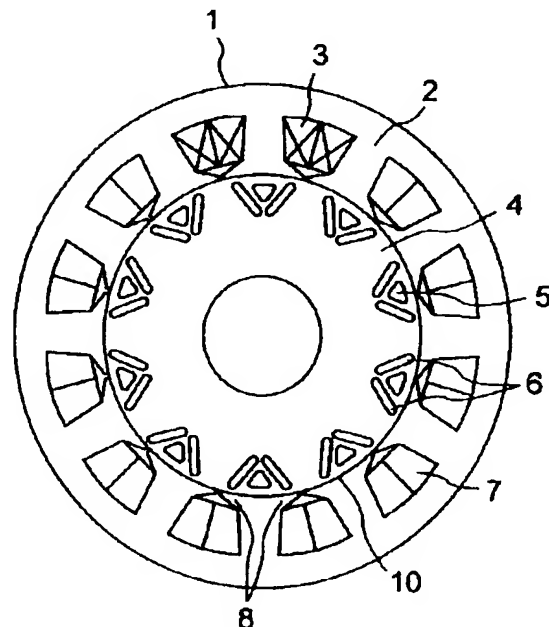
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 永久磁石式リラクタンス型回転電機

(57)【要約】

【課題】小型かつ高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうこと。

【解決手段】スロット7の内部に収納された電機子巻線3を有する固定子1と、固定子1の内側に位置して磁束の通り易い部分(d軸)と磁束の通り難い部分(q軸)とが交互に形成されるように空洞5による複数の磁気障壁が設けられ、かつ空洞5内に永久磁石6を配置してなる回転子10とを備えて構成される永久磁石式リラクタンス型回転電機において、回転子10は、q軸方向に配置された空洞5の回転子半径方向外側の回転子鉄心4の平均肉厚を $W_{qave}$  [m]、空洞5の周方向の幅を $L$  [m]、極数を $P$ 、回転子10の半径を $R$  [m]とした場合に、 $PL/2\pi RW_{qave} \geq 1.30$ なる関係を満たすように構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 スロットの内部に収納された電機子巻線を有する固定子鉄心で形成された固定子と、前記固定子の内側に位置して磁束の通り易い部分（d軸）と磁束の通り難い部分（q軸）とが交互に形成されるように空洞による複数の磁気障壁が設けられ、かつ前記空洞内に永久磁石を配置した回転子鉄心で形成された回転子とを備えて構成される永久磁石式リラクタンس型回転電機において、

前記回転子は、前記q軸方向に配置された空洞の回転子半径方向外側の回転子鉄心の平均肉厚を $W_{qave}$  [m]、前記空洞の周方向の幅を $L$  [m]、極数を $P$ 、回転子の半径を $R$  [m]とした場合に、 $PL/2\pi RW_{qave} \geq 130$

なる関係を満たすように構成したことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項2】 前記請求項1に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記回転子は、 $PL/2\pi RW_{qave} \geq 200$

なる関係を満たすように構成したことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型電機。

【請求項3】 前記請求項1または請求項2に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記q軸方向に配置された空洞は、回転子半径方向外周部へ突抜けさせていることを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項4】 スロットの内部に収納された電機子巻線を有する固定子鉄心で形成された固定子と、

前記固定子の内側に位置して磁束の通り易い部分（d軸）と磁束の通り難い部分（q軸）とが交互に形成されるように空洞による複数の磁気障壁が設けられ、かつ前記空洞内に永久磁石を配置した回転子鉄心で形成された回転子とを備えて構成される永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記回転子は、前記q軸方向なる関係を満たすように構成した向に配置された空洞と前記永久磁石との間の最短距離を $W_{dmin}$ 、極数を $P$ 、回転子の半径を $R$  [m]とした場合に、

$W_{dmin} P / 2\pi R \geq 65$

なる関係を満たすように構成したことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型電機。

【請求項5】 前記請求項4に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記回転子は、

$W_{dmin} P / 2\pi R \geq 87$

なる関係を満たすように構成したことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項6】 スロットの内部に収納された電機子巻線を有する固定子鉄心で形成された固定子と、

前記固定子の内側に位置して磁束の通り易い部分（d軸）と磁束の通り難い部分（q軸）とが交互に形成されるように空洞による複数の磁気障壁が設けられ、かつ前記空洞内に永久磁石を配置した回転子鉄心で形成された回転子とを備えて構成される永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記回転子は、前記q軸方向に配置された空洞と前記永久磁石との間の平均距離を $W_{dave}$ 、極数を $P$ 、回転子の半径を $R$  [m]とした場合に、

$95 \leq W_{dave} P / 2\pi R \leq 160$

なる関係を満たすように構成したことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項7】 前記請求項6に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記回転子は、

$110 \leq W_{dave} P / 2\pi R \leq 130$

なる関係を満たすように構成したことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項8】 前記請求項1、請求項2、請求項4乃至請求項7のいずれか1項に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記q軸方向の中心に近づくにつれて、前記q軸方向に配置された空洞の半径方向の幅を広くするようにしたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項9】 前記請求項1、請求項2、請求項4乃至請求項7のいずれか1項に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記q軸方向に配置された空洞と前記永久磁石との間の距離が前記空洞のq軸方向の中心の内径側で最大となるように、前記永久磁石の角度を変化させるようにしたことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項10】 スロットの内部に収納された電機子巻線を有する固定子鉄心で形成された固定子と、

前記固定子の内側に位置して磁束の通り易い部分（d軸）と磁束の通り難い部分（q軸）とが交互に形成されるように空洞による複数の磁気障壁が設けられ、かつ前記空洞内に永久磁石を配置した回転子鉄心で形成された回転子とを備えて構成される永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記固定子は、前記スロットのピッチを $\tau$  [m]、ティース幅を $W_t$  [m]とした場合に、 $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$

なる関係を満たすように構成したことを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項11】 前記請求項1、請求項2、請求項4乃至請求項10のいずれか1項に記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、

前記固定子は、スロットのピッチを $\tau$  [m]、ティース幅を $W_t$  [m]とした場合に、 $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$

なる関係を満たすように構成したことを特徴とする永久磁石式リラクタンس型回転電機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、永久磁石を複合して小型かつ高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なえるようにした永久磁石式リラクタンス型回転電機に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図11は、従来のリラクタンス型回転電機の構成例を示す径方向断面図である。

【0003】図11において、リラクタンス型回転電機は、スロット7の内部に収納された電機子巻線3を有する電磁鋼板を積層した固定子鉄心2で形成された固定子1と、この固定子1の内側に位置して凹凸のある回転子鉄心4で形成された回転子10とを備えて構成されている。

【0004】かかる従来のリラクタンス型回転電機は、回転子10に界磁を形成するコイルが不要であり、回転子10は凹凸のある回転子鉄心4のみで構成することができる。

【0005】このため、リラクタンス型回転電機は、簡素であり、かつ安価である。

【0006】次に、この種のリラクタンス型回転電機の出力の発生原理について述べる。

【0007】リラクタンス型回転電機は、回転子10に凹凸があることにより、凸部で磁気抵抗が小となり、凹部では磁気抵抗が大となる。

【0008】すなわち、凸部と凹部上の空隙部分で、電機子巻線3に電流を流すことにより蓄えられる磁気エネルギーが異なる。そして、この磁気エネルギーの変化によって出力が発生する。

【0009】また、凸部と凹部は、幾何的のみでなく、磁氣的に凹凸を形成することができる（磁気抵抗、磁束密度分布が、回転子10の位置により異なる）形状であればよい。

【0010】一方、その他の高性能な回転電機として、永久磁石回転電機がある。この永久磁石回転電機は、電機子はリラクタンス型回転電機と同様であるが、回転子は回転子鉄心と回転子のほぼ全周にわたって永久磁石が配置されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、このような従来の回転電機においては、次のような解決すべき技術課題がある。

【0012】すなわち、リラクタンス型回転電機は、回転子鉄心4表面の凹凸により、回転位置によって磁気抵抗が異なり、磁束密度も変化することになる。そして、この変化により磁気エネルギーが変化して出力が得られる。

【0013】しかしながら、電流が増加すると伴に、磁極となる回転子鉄心4の凸部分（磁束の通り易い部分であり、以下d軸と称する）において、局所的な磁気飽和が拡大する。

【0014】これにより、磁極間となる歯の凹の部分（磁束の通り難い部分であり、以下q軸と称する）に漏れる磁束が増加して、有効な磁束は減少して出力が低下する。

【0015】または、磁気エネルギーから考えると、鉄心歯の磁気飽和で生じる漏れ磁束によって、空隙磁束密度の変化が緩やかになり、磁気エネルギー変化が小さくなる。

【0016】このため、電流に対して出力の増加率が低下し、やがて出力は飽和する。また、q軸の漏れ磁束は、無効な電圧を誘起して力率を低下させることになる。

【0017】一方、その他の方式の高出力の回転電機として、高磁気エネルギー積の希土類永久磁石を適用した永久磁石回転電機がある。

【0018】この永久磁石回転電機は、回転子鉄心の表面に永久磁石を配置していることから、界磁に高エネルギーの永久磁石を適用することにより、高磁界を回転電機の空隙に形成できるため、小型でかつ高出力が可能となる。

【0019】しかしながら、永久磁石の磁束は一定であることから、高速回転時に電機子巻線に誘導される電圧は比例して大きくなる。

【0020】従って、低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なう場合に、界磁磁束を減らすことができないため、電源電圧を一定とすると、基底速度の2倍以上に定出力運転を行なうことは困難である。

【0021】本発明の目的は、小型かつ高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能な永久磁石式リラクタンス型回転電機を提供することにある。

【0022】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、請求項1に対応する発明では、スロットの内部に収納された電機子巻線3を有する固定子鉄心で形成された固定子と、当該固定子の内側に位置して磁束の通り易い部分（d軸）と磁束の通り難い部分（q軸）とが交互に形成されるように空洞による複数の磁気障壁が設けられ、かつ空洞内に永久磁石を配置した回転子鉄心で形成された回転子とを備えて構成される永久磁石式リラクタンス型回転電機において、回転子は、q軸方向に配置された空洞の回転子半径方向外側の回転子鉄心の平均肉厚を $W_{qave}$  [m]、空洞の周方向の幅を $L$  [m]、極数を $P$ 、回転子の半径を $R$  [m]とした場合に、 $PL/2\pi RW_{qave} \geq 130$ なる関係を満たすように構成している。

【0023】従って、請求項1に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、回転子は  $PL/2\pi RW_{ave} \geq 130$  なる関係を満たすことにより、高いトルクを得ることができるため、高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0024】また、請求項2に対応する発明では、上記請求項1に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、回転子は、  $PL/2\pi RW_{ave} \geq 200$  なる関係を満たすように構成している。

【0025】従って、請求項2に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、回転子は  $PL/2\pi RW_{ave} \geq 200$  なる関係を満たすことにより、より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0026】さらに、請求項3に対応する発明では、上記請求項1または請求項2に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、q軸方向に配置された空洞は、回転子半径方向外周部へ突抜けさせている。

【0027】従って、請求項3に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、q軸方向に配置された空洞を回転子半径方向外周部へ突抜けさせることにより、低速回転では特に高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0028】一方、請求項4に対応する発明では、スロットの内部に収納された電機子巻線を有する固定子鉄心で形成された固定子と、当該固定子の内側に位置して磁束の通り易い部分(d軸)と磁束の通り難い部分(q軸)とが交互に形成されるように空洞による複数の磁気障壁が設けられ、かつ空洞内に永久磁石を配置した回転子鉄心で形成された回転子とを備えて構成される永久磁石式リラクタンス型回転電機において、回転子は、q軸方向に配置された空洞と永久磁石との間の最短距離を  $W_{dmin}$ 、極数をP、回転子の半径をR[m]とした場合に、  $W_{dmin}P/2\pi R \geq 65$  なる関係を満たすように構成している。

【0029】従って、請求項4に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、回転子は  $W_{dmin}P/2\pi R \geq 65$  なる関係を満たすことにより、高いトルクを得ることができるため、高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0030】また、請求項5に対応する発明では、上記請求項4に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、回転子は、  $W_{dmin}P/2\pi R \geq 87$  なる関係を満たすように構成している。

【0031】従って、請求項5に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、回転子は  $W_{dmin}P/2\pi R \geq 87$  なる関係を満たすことにより、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0032】一方、請求項6に対応する発明では、スロットの内部に収納された電機子巻線を有する固定子鉄心で形成された固定子と、当該固定子の内側に位置して磁束の通り易い部分(d軸)と磁束の通り難い部分(q軸)とが交互に形成されるように空洞による複数の磁気障壁が設けられ、かつ空洞内に永久磁石を配置した回転子鉄心で形成された回転子とを備えて構成される永久磁石式リラクタンス型回転電機において、回転子は、q軸方向に配置された空洞と永久磁石との間の平均距離を  $W_{dave}$ 、極数をP、回転子の半径をR[m]とした場合に、  $95 \leq W_{dave}P/2\pi R \leq 160$  なる関係を満たすように構成している。

【0033】従って、請求項6に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、回転子は  $95 \leq W_{dave}P/2\pi R \leq 160$  なる関係を満たすことにより、高いトルクを得ることができるため、高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0034】また、請求項7に対応する発明では、上記請求項6に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、回転子は、  $110 \leq W_{dave}P/2\pi R \leq 130$  なる関係を満たすように構成している。

【0035】従って、請求項7に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、回転子は  $110 \leq W_{dave}P/2\pi R \leq 130$  なる関係を満たすことにより、より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0036】一方、請求項8に対応する発明では、上記請求項1、請求項2、請求項4乃至請求項7のいずれか1項に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、q軸方向の中心に近づくにつれて、q軸方向に配置された空洞の半径方向の幅を広くするようにしている。

【0037】従って、請求項8に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、q軸方向の中心に近づくにつれてq軸方向に配置された空洞の半径方向の幅を広くすることにより、より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0038】また、請求項9に対応する発明では、上記請求項1、請求項2、請求項4乃至請求項7のいずれか1項に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、q軸方向に配置された空洞と永久磁石との間の距離が空洞のq軸方向の中心の内径側で最大とな

るように、永久磁石の角度を変化させるようにしている。

【0039】従って、請求項9に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、q軸方向に配置された空洞と永久磁石との間の距離が空洞のq軸方向の中心の内径側で最大となるように、永久磁石の角度を変化させることにより、より一層高出力得ることのできるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0040】一方、請求項10に対応する発明では、スロットの内部に収納された電機子巻線を有する固定子鉄心で形成された固定子と、当該固定子の内側に位置して磁束の通り易い部分（d軸）と磁束の通り難い部分（q軸）とが交互に形成されるように空洞による複数の磁気障壁が設けられ、かつ空洞内に永久磁石を配置した回転子鉄心で形成された回転子とを備えて構成される永久磁石式リラクタンス型回転電機において、固定子は、スロットのピッチを $\tau$  [m]、ティース幅を $W_t$  [m]とした場合に、 $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$ なる関係を満たすように構成している。

【0041】従って、請求項10に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、固定子は $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$ なる関係を満たすことにより、高いトルクを得ることができるため、高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0042】また、請求項11に対応する発明では、上記請求項1、請求項2、請求項4乃至請求項10のいずれか1項に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、固定子は、スロットのピッチを $\tau$  [m]、ティース幅を $W_t$  [m]とした場合に、 $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$ なる関係を満たすように構成している。

【0043】従って、請求項11に対応する発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、固定子は $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$ なる関係を満たすことにより、上記請求項1、請求項2、請求項4乃至請求項10のいずれか1項に対応する発明に比べて、より一層高出力得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0045】（第1の実施の形態：請求項1、請求項2に対応）図1は、本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機の構成例を示す径方向断面図であり、図11と同一要素には同一符号を付して示している。

図1に示すように、本実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機は、スロット7の内部に収納された電機

子巻線3を有する電磁鋼板を積層した固定子鉄心2で形成された固定子1と、この固定子1の内側に位置してd軸とq軸とが交互に形成されるように空洞5による複数の磁気障壁が設けられ、このかつ空洞5内に永久磁石6を配置した回転子鉄心4で形成された回転子10とを備えて構成している。

【0046】なお、8は鉄心歯を示している。

図2は、図1における回転子10の一部の詳細を示す径方向拡大断面図である。

【0047】図2に示すように、回転子10の回転子鉄心4には、複数の空洞5が存在し、そのうちのV字に配置された箇所（図2参照）に永久磁石6を挿入している。

【0048】図3は、図1における回転子10の一部の詳細を示す径方向拡大断面図である。

【0049】図3に示すように、回転子10は、q軸方向に配置された空洞5の回転子半径方向外側の回転子鉄心4の平均肉厚を $W_{qave}$  [m]、空洞5の周方向の幅を $L$  [m]、極数を $P$ 、回転子10の半径を $R$  [m]とした場合に、

$$PL / 2\pi RW_{qave} \geq 130$$

なる関係を満たすように構成している。

【0050】なお、回転子10は、より好ましくは、 $PL / 2\pi RW_{qave} \geq 200$ なる関係を満たすように構成する。

【0051】次に、以上のように構成した本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、回転子10は、 $PL / 2\pi RW_{qave} \geq 130$ なる関係を満たすようにしていることにより、高いトルクを得ることができる。

【0052】以下、かかる点について詳述する。

回転子10には、空洞5により磁気抵抗の凹凸が存在する。磁気抵抗の小さい箇所（d軸）では空隙磁束密度が高く、逆に磁気抵抗の大きい箇所（q軸）では空隙磁束密度が小さくなる。そして、この磁束密度の変化によってリラクタンストルクが発生する。

【0053】極数が $P$ の時、図3に示すように、回転子10の半径 $R$  [m]、q軸方向に配置された空洞5の回転子半径方向外側の回転子鉄心4の肉厚 $W_q$ の平均厚さ $W_{qave}$  [m]、同空洞5の周方向の幅 $L$  [m]とした場合、q軸方向に配置された空洞5の回転子半径方向外側の回転子鉄心4の肉厚における磁気抵抗は、 $PL / 2\pi RW_{qave}$ に比例する。

【0054】図4は、極数8、回転子10の半径0.08 [m]で設計したモデルについて解析を行なった時の $PL / 2\pi RW_{qave}$ とトルクとの関係について調べた結果を示す依存特性図である。

【0055】図4から、 $PL / 2\pi RW_{qave} \geq 130$ で、今回得られた最大トルクの95%以上と、従来設計により得られたトルクよりも高いトルクを得ることがわかる。

【0056】また、より好ましくは、 $PL/2\pi RW_{qave} \geq 200$ で、最大トルクの99%以上のトルクを発生することができる。

【0057】以上により、高いトルクを得ることができ、結果として高出力（出力＝トルク×回転速度）で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

（変形例1：請求項3に対応）本実施の形態において、q軸方向に配置された空洞5は、回転子半径方向外周部へ突抜けさせる構成としてもよい。

【0058】かかる構成の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、q軸方向に配置された空洞5を回転子半径方向外周部へ突抜けさせていることにより、低速回転では特に高いトルクを得ることができる。

【0059】以下、かかる点について詳述する。 $PL/2\pi RW_{qave}$ が大きい設計ということは、極数が多い、半径が小さい、q軸方向に配置された空洞5の半径方向外側の回転子鉄心4の肉厚の平均厚さ $W_{qave}$ が薄い、同空洞5の周方向の幅が広いということが考えられる。

【0060】しかしながら、事実上、極数、回転子10の半径は、概ね設計仕様によって決定されてしまう。そのため、実際に操作できるのは、 $W_{qave}$ と $L$ となる。

【0061】図5は、トルクの $W_{qave}$ 依存特性について調べた結果を示す図である。

【0062】図5から、 $W_{qave} \leq 1\text{mm}$ の時に、従来設計よりも高トルクが得られた。これは、q軸方向に配置された空洞5の回転子半径方向外周部の回転子鉄心4部においては、上記数値制限範囲の肉厚にすることにより、この部分に分布するd軸磁束に対するq軸磁束を最小限にすることができる。

【0063】この時、d軸方向の磁束密度と、q軸方向の磁束密度との差が大きくなり、リラクタンストルクが増加する。 $W_{qave} = 0$ の時、特に顕著にリラクタンストルクが増加する。

【0064】以上により、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0065】一方、高速回転領域においては、 $W_{qave} = 0$ にした時、風損の問題が生じる。そのため、例えば高速回転機等で利用する場合には、q軸方向に配置された空洞5は、回転子半径方向外周部に突抜けている構成（ $W_{qave} = 0$ ）よりも、回転子鉄心4の半径方向外周部に、薄い肉厚（ $0 < W_{qave} \leq 1\text{mm}$ ）を持たせる構成の方がより好ましい。

（変形例2：請求項8に対応）本実施の形態（図3の構成）において、q軸方向の中心に近づくにつれて、q軸方向に配置された空洞5の半径方向の幅を広くする構成としてもよい。かかる構成の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、q軸方向の中心に近づくにつれて

q軸方向に配置された空洞5の半径方向の幅を広くしていることにより、q軸方向で磁気抵抗が最大となる。

【0066】この時、d軸方向の磁束密度と、q軸方向の磁束密度との差が大きくなり、リラクタンストルクが最大となる。

【0067】以上により、より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0068】（変形例3：請求項9に対応）本実施の形態（図3の構成）において、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離が空洞5のq軸方向の中心の内径側で最大となるように、永久磁石6の角度を変化させる構成としてもよい。

かかる構成の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離が空洞5のq軸方向の中心の内径側で最大となるように、永久磁石6の角度を変化させていることにより、磁石磁束が回転子外周部に出て行き易くなり、トルクがより一層向上する。

【0069】以上により、より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0070】上述したように、本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機では、q軸方向に配置された空洞5の回転子半径方向外側の回転子鉄心4の平均肉厚を $W_{qave}$  [m]、空洞5の周方向の幅を $L$  [m]、極数を $P$ 、回転子10の半径を $R$  [m]とした場合に、回転子10を、 $PL/2\pi RW_{qave} \geq 130$ 、より好ましくは $PL/2\pi RW_{qave} \geq 200$ なる関係を満たすように構成しているため、小型かつ高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0071】（第2の実施の形態：請求項4、請求項5に対応）図6は、本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機における回転子10の一部の詳細を示す径方向拡大断面図であり、図1乃至図3と同一要素には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。図6に示すように、本実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子10は、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の最短距離を $W_{dmin}$ 、極数を $P$ 、回転子10の半径を $R$  [m]とした場合に、 $W_{dmin}P/2\pi R \geq 65$ なる関係を満たすように構成している。

【0072】なお、回転子10は、より好ましくは、 $W_{dmin}P/2\pi R \geq 87$ なる関係を満たすように構成する。

【0073】次に、以上のように構成した本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、回転子10は、 $W_{dmin}P/2\pi R \geq 65$ なる関係を満た



すようにしていることにより、より一層高いトルクを得ることができる。

【0074】以下、かかる点について詳述する。

図7は、図6に示すように、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離を $W_d$ 、その最短距離を $W_{dmin}$ 、極数を $P$ 、回転子10の半径を $R$  [m]とした場合に、 $PW_{dmin}/2\pi R$ とトルクとの関係について調べた結果を示す依存特性図である。

【0075】図7から、 $PW_{dmin}/2\pi R \geq 6.5$ を満たす時に、今回得られた最大トルクの95%以上と、従来設計により得られたトルクよりも高いトルクを得ることができることがわかる。

【0076】また、より好ましくは、 $PW_{dmin}/2\pi R \geq 8.7$ で、最大トルクの99%以上のトルクを発生することができる。

【0077】ここで、設計仕様により、極数、回転子10の半径は概ね決められている。そのため、 $PW_{dmin}/2\pi R$ は、 $W_{dmin}$ に比例すると考えてよい。

【0078】すなわち、 $W_{dmin}$ が大きい時、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の回転子鉄心4部で起こる磁気飽和が少なくなり、d軸方向の磁束が増加し、リラクタンストルクが高くなることを意味している。

【0079】以上により、より一層高いトルクを得ることができ、結果として高出力（出力＝トルク×回転速度）で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

（変形例1：請求項8に対応）本実施の形態（図6の構成）において、q軸方向の中心に近づくにつれて、q軸方向に配置された空洞5の半径方向の幅を広くする構成としてもよい。

かかる構成の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、q軸方向の中心に近づくにつれてq軸方向に配置された空洞5の半径方向の幅を広くしていることにより、q軸方向で磁気抵抗が最大となる。

【0080】この時、d軸方向の磁束密度と、q軸方向の磁束密度との差が大きくなり、リラクタンストルクが最大となる。

【0081】以上により、より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0082】（変形例2：請求項9に対応）本実施の形態（図6の構成）において、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離が空洞5のq軸方向の中心の内径側で最大となるように、永久磁石6の角度を変化させる構成としてもよい。

かかる構成の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離が空洞5のq軸方向の中心の内径側で最大となるように、永久磁石6の角度を変化させていることによ

り、磁石磁束が回転子外周部に出て行き易くなり、トルクがより一層向上する。

【0083】以上により、より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0084】上述したように、本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機では、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の最短距離を $W_{dmin}$ 、極数を $P$ 、回転子10の半径を $R$  [m]とした場合に、回転子10を、 $W_{dmin}P/2\pi R \geq 6.5$ 、より好ましくは $W_{dmin}P/2\pi R \geq 8.7$ なる関係を満たすように構成しているので、小型かつより一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0085】（第3の実施の形態：請求項6、請求項7に対応）図6は、本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機における回転子10の一部の詳細を示す径方向拡大断面図であり、図1乃至図3と同一要素には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。図6に示すように、本実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子10は、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離 $W_d$ の平均距離を $W_{dave}$ 、極数を $P$ 、回転子10の半径を $R$  [m]とした場合に、

$$9.5 \leq W_{dave}P/2\pi R \leq 16.0$$

なる関係を満たすように構成している。

【0086】なお、回転子10は、より好ましくは、 $11.0 \leq W_{dave}P/2\pi R \leq 13.0$ なる関係を満たすように構成する。

【0087】次に、以上のように構成した本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、回転子10は、 $9.5 \leq W_{dave}P/2\pi R \leq 16.0$ なる関係を満たすようにしていることにより、より一層高いトルクを得ることができる。

【0088】以下、かかる点について詳述する。

図8は、図6に示すように、q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離 $W_d$ の平均距離を $W_{dave}$ 、極数を $P$ 、回転子10の半径を $R$  [m]とした場合に、 $PW_{dave}/2\pi R$ とトルクとの関係について調べた結果を示す依存特性図である。

【0089】図8から、 $9.5 \leq PW_{dave}/2\pi R \leq 16.0$ を満たす時に、今回得られた最大トルクの95%以上と、従来設計により得られたトルクよりも高いトルクを得ることができることがわかる。

【0090】また、より好ましくは、 $11.0 \leq PW_{dave}/2\pi R \leq 13.0$ で、最大トルクの99%以上のトルクを発生することができる。

【0091】ここで、設計仕様により、極数、回転子10の半径は概ね決められている。そのため、 $PW_{dave}/2\pi R$ は $W_{dave}$ に比例すると考えてよい。

【0092】すなわち、 $W_{dave}$ が大きい時、 $q$ 軸方向に配置された空洞5と永久磁石10との間の回転子鉄心4部で起こる磁気飽和が少なくなり、リラクタンストルクが高くなるが、 $W_{dave}$ が大きくなりすぎると、 $q$ 軸方向の磁気抵抗が小さくなってしまい、逆にリラクタンストルクが減少してしまうことを意味している。

【0093】以上により、より一層高いトルクを得ることができ、結果として高出力（出力＝トルク×回転速度）で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

（変形例1：請求項8に対応）本実施の形態（図6の構成）において、 $q$ 軸方向の中心に近づくにつれて、 $q$ 軸方向に配置された空洞5の半径方向の幅を広くする構成としてもよい。

かかる構成の永久磁石式リラクタンس型回転電機においては、 $q$ 軸方向の中心に近づくにつれて $q$ 軸方向に配置された空洞5の半径方向の幅を広くしていることにより、 $q$ 軸方向で磁気抵抗が最大となる。

【0094】この時、 $d$ 軸方向の磁束密度と、 $q$ 軸方向の磁束密度との差が大きくなり、リラクタンストルクが最大となる。

【0095】以上により、より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0096】（変形例2：請求項9に対応）本実施の形態（図6の構成）において、 $q$ 軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離が空洞5の $q$ 軸方向の中心の内径側で最大となるように、永久磁石6の角度を変化させる構成としてもよい。

かかる構成の永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、 $q$ 軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離が空洞5の $q$ 軸方向の中心の内径側で最大となるように、永久磁石6の角度を変化させていることにより、磁石磁束が回転子外周部に出て行き易くなり、トルクがより一層向上する。

【0097】以上により、より一層高いトルクを得ることができるため、より一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0098】上述したように、本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機では、 $q$ 軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離 $W_d$ の平均距離を $W_{dave}$ 、極数を $P$ 、回転子10の半径を $R$  [m]とした場合に、回転子10を、 $9.5 \leq W_{dave} P / 2\pi R \leq 16.0$ 、より好ましくは $11.0 \leq W_{dave} P / 2\pi R \leq 13.0$ なる関係を満たすように構成しているため、小型かつより一層高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0099】（第4の実施の形態：請求項10に対応）図9は、本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機における固定子1の一部の詳細を示す径方向

大断面図であり、図1および図2と同一要素には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

図9に示すように、本実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機の固定子1は、スロット11のピッチを $\tau$  [m]、ティース幅（固定子鉄心歯幅）を $W_t$  [m]とした場合に、 $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$ なる関係を満たすように構成している。

【0100】次に、以上のように構成した本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機においては、固定子1は、 $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$ なる関係を満たすようにしていることにより、高いトルクを得ることができる。

【0101】以下、かかる点について詳述する。

スロット11のピッチ $\tau$  [m]、ティース幅 $W_t$  [m]とし、また発熱を所定値以下に抑えるために電流密度を調整する。

【0102】一般的な永久磁石電動機、誘導電動機は、高トルク、高出力を得るために、スロット内に導線をできるだけ多く挿入して、アンペアターンを大きくする。その結果、ティース幅よりもスロット幅が広がっている。

【0103】ティース幅を広くした場合には、スロット内を流れる電流密度が上昇し、あるレベルでスロット内に流れる通電電流の絶対値が減少して、トルクが減少する。

【0104】これに対して、本実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機では、次のような逆の結果を示す。

【0105】すなわち、ティース幅 $W_t$ が狭くなると、ティース部分で磁気飽和が起り、ティースの磁気抵抗が大きくなり、電流から見た磁気抵抗は固定子1に占める磁気抵抗割合が高くなり、回転子10の磁気抵抗差が相対的に小さくなる。その結果、リラクタンストルクが小さくなり、出力が低下してしまう。

【0106】一方、ティース幅 $W_t$ を広くすると、アンペアターンは減少するが、磁気抵抗の差がより大きくなるため、結果的にはトルクが増加する。さらに、アンペアターンの減少によって、インダクタンスの絶対値が小さくなるため、電圧源では高速領域での出力が増加する。

【0107】図10は、 $W_t / \tau$ とトルクとの関係について調べた結果を示す依存特性図である。

【0108】図10から、 $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$ の領域で、高いトルクを得ることができることがわかる。

【0109】以上により、高いトルクを得ることができ、結果として高出力（出力＝トルク×回転速度）で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。



上述したように、本実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機では、スロット11のピッチを $\tau$  [m]、ティース幅（固定子鉄心歯幅）を $W_t$  [m]とした場合に、固定子1を、 $0.45 \leq W_t / \tau \leq 0.8$ なる関係を満たすように構成しているため、小型かつ高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

【0110】（その他の実施の形態）尚、本発明は、上記各実施の形態に限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で、種々に実施することが可能である。

また、各実施の形態は可能な限り適宜組合わせて実施してもよく、その場合には組合わせた作用効果を得ることができる。

例えば、回転子の構成に関する発明である上記第1乃至第3の各実施の形態において、各実施の形態のうちの任意のもの、あるいは全てのものを適宜組合わせて実施することができる。

さらに、回転子の構成に関する発明である上記第1乃至第3の各実施の形態、あるいはこれらを組合わせたものと、固定子の構成に関する発明である上記第4の実施の形態を適宜組合わせて実施することもできる。

さらに、上記各実施の形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組合わせにより、種々の発明を抽出することができる。

例えば、実施の形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題（の少なくとも一つ）が解決でき、発明の効果の欄で述べられている効果（の少なくとも一つ）が得られる場合には、この構成要件が削除された構成を発明として抽出することができる。

#### 【0111】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の永久磁石式リラクタンス型回転電機によれば、回転子位置によってインダクタンスの差が大きな回転電機が得られ、高いトルクを得ることができるため、小型かつ高出力で低速から高速回転までの広範囲の可変速運転を行なうことが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1乃至第3の実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機の構成例を示す径方向断面図。

【図2】図1における回転子の一部の詳細な構成例を示す径方向拡大断面図。

【図3】図1における回転子の一部の詳細な構成例を示す径方向拡大断面図。

【図4】同本発明の第1の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機におけるトルクと $PL/2\pi RW_{gave}$ との関係を示す依存特性図。

【図5】本発明の第1の実施形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機におけるトルクの $W_{gave}$ 依存

【図6】本発明の第2および第3の実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機の構成例を示す径方向拡大断面図。

【図7】本発明の第2の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機におけるトルクの $W_{dmin}P/2\pi R$ 依存特性を示す図。

【図8】本発明の第3の実施例の永久磁石式リラクタンス型回転電機におけるトルクの $W_{dave}P/2\pi R$ 依存特性を示す図。

【図9】本発明の第4の実施の形態による永久磁石式リラクタンス型回転電機の構成例を示す径方向拡大断面図。

【図10】本発明の第4の実施の形態の永久磁石式リラクタンス型回転電機におけるトルクの $W_t/\tau$ 依存特性を示す図。

【図11】従来のリラクタンス型回転電機の構成例を示す径方向断面図。

#### 【符号の説明】

1…固定子

2…固定子鉄心

3…電機子巻線

4…回転子鉄心

5…空洞

6…永久磁石

7…スロット

8…鉄心歯

9…回転子鉄心

10…回転子

11…スロット

$W_{gave}$ …q軸方向に配置された空洞5の回転子半径方向外側の回転子鉄心4の平均肉厚

L…空洞5の周方向の幅

P…極数

R…回転子10の半径

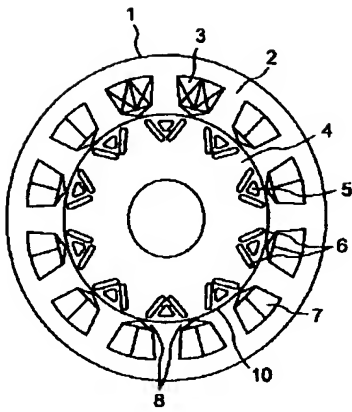
$W_{dmin}$ …q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の最短距離

$W_{dave}$ …q軸方向に配置された空洞5と永久磁石6との間の距離 $W_d$ の平均距離

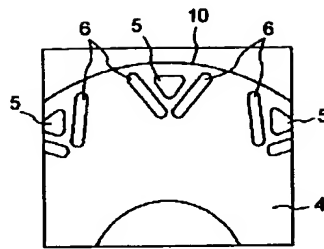
$\tau$ …スロット11のピッチ、

$W_t$ …ティース幅（固定子鉄心歯幅）。

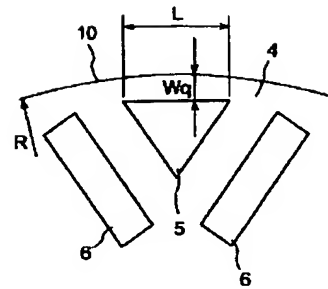
【図1】



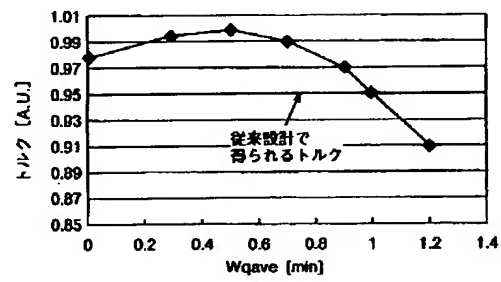
【図2】



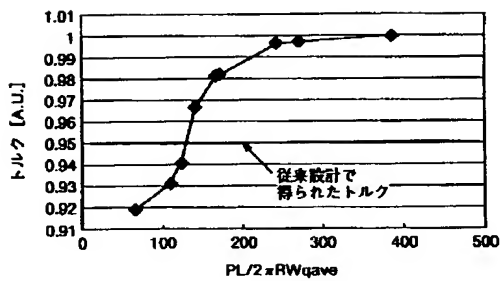
【図3】



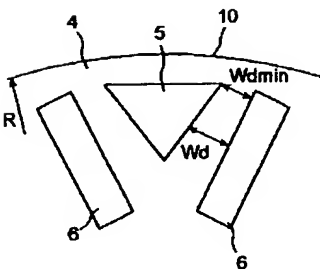
【図5】

トルクの  $W_{qave}$  依存

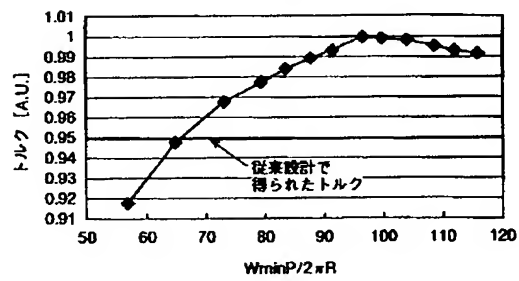
【図4】

トルクの  $PL/2\pi RW_{qave}$  依存

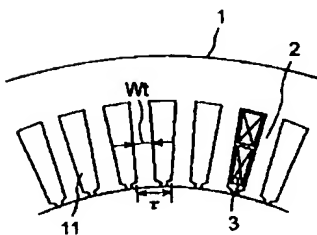
【図6】



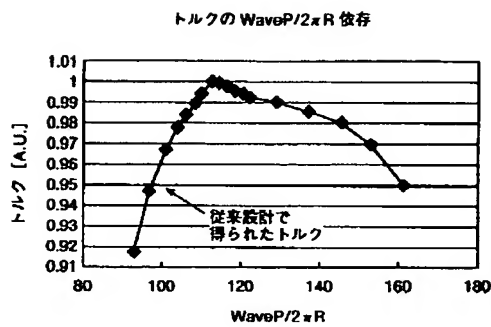
【図7】

トルクの  $W_{min}P/2\pi R$  依存

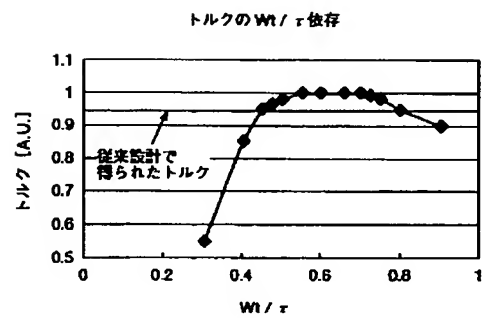
【図9】



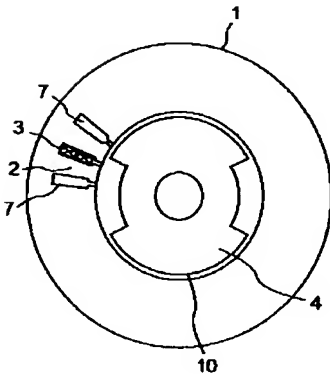
【図8】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 新 政憲

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内

Fターム(参考) 5H619 AA01 BB01 BB06 BB24 PP02

PP05 PP06 PP08

5H621 GA01 GA04 HH01

5H622 AA03 CA02 CA07 CB01